

ارزیابی اثر پیش‌ تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه جعفری (*Petroselinum sativum* Mill.) تحت تنش خشکی

زینب سعادت^۱، بهروز اسماعیل پور^{۱*} و احمد جوادی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۳۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پیش‌ تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر گیاه دارویی جعفری در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در شرایط گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی گروه باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح پرایمینگ (پیش‌ تیمار بذر با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک و ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول و شاهد (بدون پرایمینگ)) و سه سطح تنش خشکی (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که پیش‌ تیمار بذر، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته و ریشه، محتوای پرولین، هدایت روزنه‌ای و محتوای پتاسیم جعفری را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.05$). پیش‌ تیمار بذر با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب باعث افزایش ۱۴ و ۸ درصدی وزن خشک بوته جعفری در مقایسه با شاهد شد. پیش‌ تیمار بذر با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب باعث کاهش ۱ و ۱۱ درصدی وزن خشک بوته جعفری نسبت به گیاهان شاهد شد. تمام صفات رویشی مورد بررسی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافتند، اما محتوای پرولین و پروتئین محلول برگ افزایش نشان داد. حداکثر میزان پرولین برگ (۲/۴ میکروگرم بر گرم وزن تر) برای ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن (۱/۰۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) به شرایط ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تعلق گرفت. پیش‌ تیمار بذر با سالیسیلیک اسید، با تأثیر مثبت بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک، باعث افزایش مقاومت نسبت به تنش خشکی در مقایسه با پاکلوبوترازول شد.

کلمات کلیدی: پروتئین محلول، گیاه دارویی، محتوای پرولین، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

سدیم و پتاسیم بوده و ویتامین‌های A و C به مقدار بیشتری از سایر سبزی‌ها در آن یافت می‌شود. همچنین، آنتی‌اکسیدان‌ها و روغن‌های فرار موجود در آن نقش مهمی در صنعت داروسازی و غذایی ایفا می‌کند (۳ و ۳۸).

جعفری (*Petroselinum sativum* Mill.) به عنوان یک سبزی و گیاه دارویی پرمصرف از خانواده چتریان است (۳۹). برگ‌های جعفری غنی از انواع عناصر معدنی نظیر کلسیم، آهن، فسفر،

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: behsmaiel@yahoo.com

می‌کند (۳۰). پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک قبل از کاشت از طریق افزایش غلظت بعضی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها (۴۱) و کاهش نشت یونی از سلول‌های گیاهی موجب افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌شود (۲۱). مکانیسم عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش‌ها به نقش آن در تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات دارای گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه بر می‌شود (۳۱). کلاتر احمدی و همکاران (۲۹) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک می‌تواند از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش دهد.

پاکلوبوترازول یکی از مهم‌ترین ترکیب‌های گروه تریازول‌ها است که به‌منظور کاهش رشد رویشی در گیاهان استفاده می‌شود (۱۳ و ۲۲). پاکلوبوترازول باعث افزایش بسیاری از فاکتورهای تبادل گازی در گیاهان می‌شود. به‌عنوان مثال، کاربرد این ماده در سیب‌زمینی باعث افزایش فتوسنتز و هدایت بهتر کربوهیدرات‌ها به سمت غده‌ها شد (۴۵). همچنین، نتایج سانکار و همکاران (۴۰) نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول می‌تواند موجب تقویت مکانیزم‌های دفاعی و مقاومت به تنش خشکی می‌شود و با ممانعت از اکسیداسیون انت کائورون (Ent kaurun) به انت کائورونیک اسید (Ent kauronic acid) از بیوسنتز جیرلین ممانعت می‌کند و از تجزیه اسید آبسزیک جلوگیری می‌کند (۵۰). پاکلوبوترازول با افزایش سنتز اسید آبسزیک در گیاهان، قابلیت تحمل و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (۵۰). هنگامی که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، انرژی‌ای را که باید برای رشد مصرف می‌کرد، در مسیر فرایندهای مقاومت به تنش استفاده می‌کند. از جمله مسیرهای مصرف‌کننده انرژی که باعث ایجاد مقاومت در گیاه می‌شود می‌توان به سنتز اسید آبسزیک و پرولین اشاره کرد، که از عوامل مهم تحمل به تنش خشکی هستند (۱ و ۴۷).

با در نظر گرفتن مسائل ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق، ارائه‌ی راه‌حلی در جهت کاهش آسیب‌های ناشی از تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه جعفری بود.

نوسانات رطوبت قابل دسترس، تأثیر زیادی بر غیریکنواختی ظهور گیاهچه و سایر فرایندهای رشد دارد (۲۳ و ۳۱). علاوه بر این، عدم سبز شدن یکنواخت بذر تحت تأثیر کاهش رطوبت در گیاهانی که به‌صورت مستقیم با استفاده از بذر کاشته می‌شوند نیز چشمگیرتر است. بدین ترتیب، استقرار خوب محصول در شرایط تنش از چالش‌های پیش رو در تولید بیشتر محصولات کشاورزی در جهان است (۱۸). حسنی و امیددییگی (۲) اظهار داشتند که با کاهش مقدار آب خاک، شاخص‌هایی همچون ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه و عملکرد اسانس کاهش و در مقابل، نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی و درصد اسانس ریحان افزایش یافت. میسرا و سریاکاستیوا (۳۷) مشاهده کردند که در گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita*) بروز تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، مقدار کلروفیل و عملکرد اسانس شد. بر اساس گزارش چارلز و همکاران (۱۶)، کمبود آب در مرحله قبل از برداشت موجب کاهش میزان ترکیب آرتیزین در گیاه درمنه خزری شد. گانیات و همکاران (۲۰) نیز دریافتند که افزایش تعداد دفعات آبیاری به‌ترتیب تا پنج و چهار نوبت موجب افزایش عملکرد بیولوژیک و بذر اسفرزه شد. تحقیقات تومار و همکاران (۴۶) روی واکنش گشنیز (*Coriandrum sativum*) نشان داد که به‌کار بردن سه نوبت آبیاری در مراحل شاخه‌دهی، گل‌دهی و پر شدن دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک بیشتری در مقایسه با یک و دو نوبت آبیاری نشان داد.

استراتژی‌های مقاومتی شامل پیش‌تیمار (پرایمینگ) بذر اغلب برای بهبود استقرار گیاهان و افزایش قدرت گیاهچه‌ها تحت شرایط محیطی نامطلوب، به‌ویژه خشکی، استفاده می‌شود (۶ و ۱۴). پیش‌تیمار (پرایمینگ) یکی از ارزان‌ترین راه‌های بهبود استقرار گیاهچه در شرایط تنش محسوب می‌شود (۱۰ و ۲۶). اسید سالیسیلیک یکی از مولکول‌های سیگنال‌دهنده مهم است که در واکنش‌های دفاعی گیاه، از جمله نسبت به بروز تنش‌های غیرزنده همچون خشکی، سرما و گرما، مشارکت

نقطه پژمردگی با استفاده از روش کاوازا و همکاران (۱۵) به دست آمد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش و توزین گلدان ها بر مبنای روش جاکوب و کلارک (۲۸) انجام شد.

در دوره رشد گیاه، هدایت روزنه ای ۱۰ درصد از بوته های موجود در هر گلدان با استفاده از دستگاه پرومتر مدل SC۱ ساخت کشور آمریکا اندازه گیری شد و میانگین آن ها ثبت شد. پس از برداشت بوته ها، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام های هوایی و ریشه ها اندازه گیری شد. به منظور تعیین سطح برگ گیاه، از دستگاه سطح برگ سنج مدل ΔT انگلستان استفاده شد. به منظور اندازه گیری مقادیر عنصر پتاسیم در گیاهچه ها، نمونه های خشک شده در آون ۸۰ درجه سلسیوس پس از خرد شدن در بوته چینی، جهت تهیه خاکستر در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس، روی خاکستر هر نمونه ۰/۵ گرمی از گیاهچه ها، ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک (HCl) یک نرمال اضافه شد و تا زمان رسیدن به نقطه جوش حرارت داده شد و در ادامه، محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی، صاف و در بالن ریخته شد. در نهایت، حجم بالن محتوی محلول صاف شده با استفاده از آب مقطر دیونیزه به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. بعد از واسنجی دستگاه فلیم فتومتر با محلول استاندارد، مقدار پتاسیم گیاهچه ها تعیین شد (۳۲).

اندازه گیری پرولین از جوان ترین برگ ها با استفاده از روش بیتس و همکاران (۹) انجام گرفت. به این صورت که مقدار ۰/۱ گرم بافت برگ در دو میلی لیتر سولفواسید سالیسیلیک ۳/۳ درصد سائیده شده و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، در لوله جداگانه دیگری، به یک میلی لیتر از عصاره حاصل، یک میلی لیتر معرف ناین هیدرین و یک میلی لیتر اسیداستیک گلاسیال خالص اضافه شده و لوله ها به مدت یک ساعت در بن ماری ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در ادامه، پس از خنک شدن نمونه ها، دو میلی لیتر تولوئن به هر کدام از لوله ها

در همین راستا، اثر پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول به عنوان تنظیم کننده رشد بر شاخص های رشد و فیزیولوژیک جعفری در سطوح مختلف تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

بذر جعفری (*Petroselinum sativum* Mill.) از شرکت تولید و تهیه بذر "پاکان بذر اصفهان" تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه تحقیقاتی گروه باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح پرایمینگ بذر (غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، بدون پرایمینگ (شاهد)) و سه سطح تنش خشکی شامل ۱۰۰ (شاهد یا نرمال)، ۵۰ (خشکی ملایم) و ۲۵ (خشکی شدید) درصد رطوبت ظرفیت زراعی بودند.

در ابتدا، بذرهای جعفری با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی شده و پس از سه بار شستشو با آب مقطر، با غلظت های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول به مدت ۲۴ ساعت (قبل از خروج ریشه چه) پیش تیمار (پرایمینگ) شدند. پرایمینگ بذر با قرارگیری بذر ها بین دو لایه کاغذ حوله ای مرطوب اعمال شد و پس از اتمام آبیگری بذر ها طی فرایند پرایمینگ بذر، خشک شدن بذر ها در دمای آزمایشگاه (۲۰-۳۰ درجه سلسیوس) تا رسیدن به رطوبت اولیه ادامه یافت.

خاک مورد استفاده در این آزمایش از نوع لوم رسی، با اسیدیته ۸/۵ و هدایت الکتریکی ۴۴۸ میکروزیمنس بر سانتی متر بود. تعداد ۲۵ عدد بذر پیش تیمار شده در هر گلدان پلاستیکی، با ارتفاع ۵۰ و قطر دهانه ۲۶ سانتی متر با نسبت دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه (۲:۱) در عمق سه سانتی متر گشت شدند. قبل از اعمال تنش خشکی، وزن مخصوص ظاهری خاک به روش جاکوب و کلارک (۲۸) و رطوبت ظرفیت زراعی و

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر پیش‌ تیمار بذر و سطوح تنش خشکی بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک گیاه جعفری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	سطح برگ	محتوای پروتئین برگ	محتوای پروتئین برگ	هدایت روزنه‌ای برگ	محتوای پتاسیم برگ
پیش‌ تیمار بذر (A)	۴	۲۶۴/۸۱**	۰/۲۸**	۰/۴۶**	۰/۸۴ ^{ns}	۰/۸۳*	۳۴/۳۵ ^{ns}	۶۱۲/۸۰**	۱/۱۶**
تنش خشکی (B)	۲	۲۵/۴۲*	۰/۲**	۱/۱۷**	۱/۶۱ ^{ns}	۱/۱۲*	۲۳۶/۴**	۱۲۰/۵۶*	۰/۰۰۱ ^{ns}
A×B	۸	۱۸/۴۷*	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۲۷*	۱/۳۸*	۰/۴۳ ^{ns}	۵۰/۷۳ ^{ns}	۳۰۶/۰۹**	۰/۰۰۷ ^{ns}
خطا	۴۵	۸/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۳۵	۴۶/۶۸	۲۹/۸۲	۰/۰۴
ضریب تغییرات (%)		۸/۲۵	۱۴/۱۶	۲۷/۶۴	۲۲/۵۱	۲۶/۶۱	۱۷/۶۰	۱۴/۹۷	۱۴/۹۷

*, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۰.۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

برگ‌های جعفری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی و پیش‌ تیمار بذر قرار گرفتند ($p \leq 0.05$). محتوای پروتئین برگ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی و پتاسیم برگ‌ها تحت تأثیر پرایمینگ بذر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. اثر تعاملی تنش خشکی و پرایمینگ بذر نیز به‌لحاظ صفات ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

ارتفاع گیاه

با افزایش شدت تنش خشکی از ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (شاهد) به ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در شرایط عدم پیش‌ تیمار بذر، ارتفاع بوته کاهش ۳۰ درصدی از خود نشان داد. میزان این صفت در شرایط پیش‌ تیمار بذر با سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک به‌ترتیب برابر با ۲۵ و ۲۹ درصد افزایش یافت. به‌طوری‌که طویل‌ترین بوته جعفری در شرایط بدون تنش خشکی و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک (۴۳/۴ سانتی‌متر) به‌دست آمد. پیش‌ تیمار بذر با پاکلوپوترازول موجب بهبود اثر سوء ناشی از تنش خشکی در مورد ارتفاع بوته شد. به‌طوری‌که میزان کاهش ارتفاع بوته در سطح سوم تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت

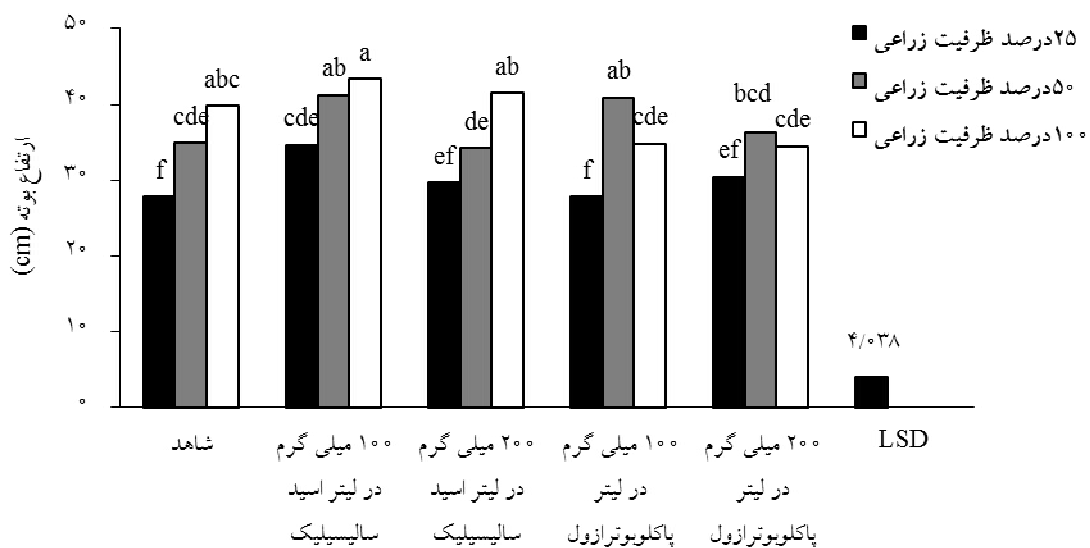
اضافه و به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شدند. سپس، فاز رنگی بالایی، با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ nm قرائت شد.

استخراج پروتئین کل از جوان‌ترین برگ به روش برادفورد (۱۲) انجام شد. در این راستا، ابتدا ۰/۱ گرم نمونه تر برگی با یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار درون هاون چینی سرد ساییده شده و پس از انتقال به میکروتیوب با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. از محلول شفاف رویی، ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و به لوله‌های آزمایشی که قبلاً در هر کدام پنج میلی‌لیتر معرف برادفورد ریخته شده بود اضافه شد. پس از گذشت پنج دقیقه از شروع واکنش و تثبیت رنگ، قرائت در دمای آزمایشگاه و در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه شده و مقایسه میانگین تیمارها نیز با روش LSD انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، هدایت روزنه‌ای و محتوای پروتئین



شکل ۱. میانگین ارتفاع بوته گیاه جعفری تحت تأثیر پرایمینگ بذر و تنش خشکی

آنزیمی و اندامک های درون سلول را تحت تأثیر قرار می دهد (۴۲). به طور کلی، با افزایش تنش آب و کاهش فشار تورژسانس سلول های محافظ روزنه، هدایت روزنه ها کاهش یافته و به تبع آن سرعت رشد، فتوسنتز، خصوصیات مورفولوژیک و در نهایت ارتفاع کاهش می یابد (۱۱).

در برخی گونه های گیاهی، پیش تیمار بذر با مواد رشدی، اثر مضر تنش روی رشد و عملکرد نهایی گیاه را تخفیف داده است (۶). برای مثال، گیاهان گندم حاصل از پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک، مقاومت بیشتری به بروز تنش خشکی نشان داده و ارتفاع بوته بلندتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند (۲۵). در این پژوهش نیز مشاهده شد که بذرهای تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک، ارتفاع بوته بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. به نظر می رسد که اسید سالیسیلیک توانسته است تا حدودی از اثرهای مخرب تنش خشکی بر گیاه جعفری بکاهد. اثر کندکنندگی رشد تحت تأثیر پیش تیمار با پاکلوبوترازول در شرایط بدون تنش و اثر تقویت کنندگی این هورمون در شرایط تنش برای گیاه جعفری مربوط به خصوصیات این ماده است. آنتوگنوز و همکاران (۵) گزارش کردند که تیمار نهال های زیتون با پاکلوبوترازول،

زراعی) در گیاهچه های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده با غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۲ درصد بود (شکل ۱).

گیاهانی که تحت تنش خشکی کاهش بیشتری در ارتفاع نشان می دهند به میزان بیشتری از تنش خشکی آسیب می بینند (۴۴). کاهش ارتفاع در اثر اعمال تنش خشکی با نتایج خلید (۳۰) مطابقت دارد. وی بر این عقیده بود که کاهش رشد یک مکانیسم سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط بروز تنش است. زیرا گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد اندام های هوایی، به سمت مولکول های نگهداری کننده در برابر تنش هدایت می کند. اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از خصوصیات ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است و تقسیم و اندازه سلول نسبت به بروز تنش خشکی بسیار حساس است. به نظر می رسد که در شرایط بروز تنش خشکی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع شد. علاوه بر این، بررسی ها نشان داده است که کاهش عرضه آب در جریان فتوسنتز، منجر به اختلال در پیشرفت واکنش های شیمیایی این فرایند می شود. کاهش محتوای آب سلولی، با افزایش غلظت شیره سلولی، فعالیت های

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرهای اصلی پرایمینگ بذر و تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه جعفری

وزن خشک اندام هوایی (گرم)	تیمار
۱/۴۴ ^{ab}	شاهد (بدون پرایمینگ)
۱/۶۴ ^a	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۱/۵۶ ^a	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۱/۴۳ ^{ab}	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۱/۲۸ ^b	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۰/۱۶۵	LSD ۰/۰۵
۱/۳۴ ^b	رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی
۱/۴۴ ^b	رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی
۱/۶۸ ^a	رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی
۰/۱۶۵	LSD ۰/۰۵

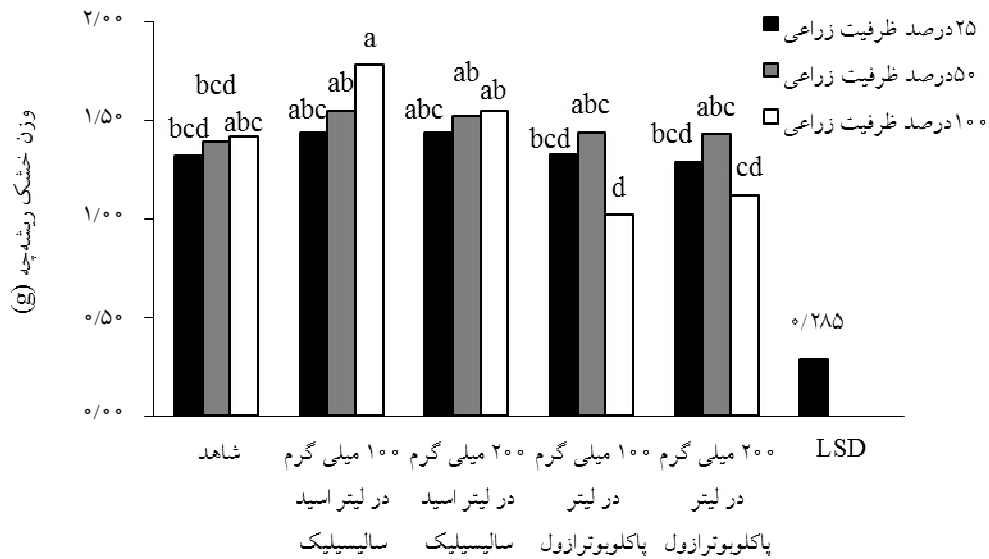
کاهش ارتفاع، طول شاخه، طول میان‌گره و سطح برگ را به دنبال داشت.

وزن خشک اندام‌های هوایی

پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بیشترین میزان وزن خشک اندام‌های هوایی جعفری را نشان داد که با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک در یک گروه آماری بود. در حالی که کمترین میزان این صفت (۱/۲۸ گرم) به کاربرد ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول تعلق داشت (جدول ۲).

با کاهش درصد رطوبت خاک، وزن خشک اندام هوایی به طور چشمگیری کاهش یافت. به طوری که در رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، وزن خشک اندام هوایی نسبت به رطوبت ۱۰۰ درصد حدود ۲۰ درصد کاهش نشان داد. کمترین وزن خشک اندام هوایی (۱/۳۴ گرم) در تیمار تنش ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمار ۵۰ درصد رطوبت مزرعه از لحاظ آماری تفاوت معنی داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. پیش تیمار بذر با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب باعث کاهش ۱ و ۱۱ درصدی وزن خشک بوته جعفری نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۲).

بررسی‌ها نشان داده که با افزایش شدت تنش خشکی، از رشد رویشی کاسته می‌شود. در این شرایط، راهکار گیاهان این است که با حداقل رشد رویشی وارد فاز زایشی شوند و سریع‌تر دوره رشد خود را به اتمام برسانند. بنابراین، در این پژوهش، با کاهش رطوبت خاک، وزن اندام‌های هوایی روند نزولی داشت. از سوی دیگر، پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک، به طور مؤثری موجب افزایش معنی دار جوانه‌زنی، رشد و عملکرد محصول در گونه‌های مختلف گیاهی می‌شود (۳۴). فریدالدین و همکاران (۱۷) گزارش کردند که تیمار بذر کلزا (*Brassica juncea*) با غلظت‌های کم اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی شد. افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک را می‌توان به بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد این ماده در شرایط بروز تنش نسبت داد (۲۵). سینگ و آشا (۴۳) اظهار داشتند که پیش تیمار بذر با این ماده از طریق افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان فتوسنتز کل را افزایش داد. کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر پیش تیمار با پاکلوبوترازول را می‌توان به خاصیت کندکنندگی رشد تحت تأثیر پیش تیمار با این ماده، به ویژه در غلظت‌های زیاد، نسبت داد (۸). یکی از تغییرات مورفولوژیک مرتبط با تیمار تریازول‌ها در گیاهان



شکل ۲. میانگین وزن خشک ریشه گیاه جعفری تحت تأثیر پرایمینگ بذر و تنش خشکی

پاکلوبوترازول و افزایش تنش خشکی از ۲۵ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش ۳۰ و ۱۵ درصدی وزن خشک ریشه شد (شکل ۲).

گیاه در شرایط بدون تنش خشکی از وضعیت آماس سلولی مناسبی برخوردار است که در این شرایط، پتانسیل فشاری لازم برای توسعه سلول و تقسیم آن فراهم است. لذا در این شرایط باعث افزایش فعالیت متابولیسمی و رشد و سرعت توسعه ریشه می شود. به طوری که با رشد ریشه، جذب یون های غذایی بیشتر می شود و با تولید اندام های هوایی زیاده تر، انرژی موجود از طریق فتوسنتز نیز افزایش می یابد. ولی در شرایط تنش خشکی، محدودیت های تغذیه ای ایجاد شده از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم، موجب کاهش رشد و سرعت توسعه ریشه شده که به تبع آن تولید اندام های هوایی و زیرزمینی و انرژی موجود از طریق فتوسنتز کاهش می یابد (۲۴ و ۳۳). البته در شرایط تنش و وضعیت نامناسب آماس سلولی، اختصاص مواد غذایی به ریشه نسبت به ساقه افزایش یافته که گیاه قادر نخواهد بود کربوهیدرات های مورد نیاز برای ادامه رشد را فراهم نماید. افزایش رشد و بهبود توسعه سیستم ریشه ای در شرایط پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک باعث

مختلف، جلوگیری از رشد گیاه است که به خاصیت ضدجیبرلینی پاکلوبوترازول مرتبط است. در این پژوهش، پیش تیمار بذر با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول کمترین مقدار زیست توده را داشت که با یافته های فلچر و همکاران (۱۹) در مورد تریازول ها مطابقت داشت.

وزن خشک ریشه

مقایسه میانگین وزن خشک ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه (۱/۷۸ گرم در بوته) در شرایط بدون تنش و پیش تیمار بذر با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک حاصل شد. وزن خشک ریشه جعفری با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در شرایط بدون پیش تیمار بذر، هفت درصد کاهش یافت. از طرفی، بیشترین وزن خشک ریشه (۱/۴۴ گرم در بوته) در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول با آبیاری ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی حاصل شد و کمترین مقدار این صفت (۱/۰۲ گرم در بوته) را رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به خود اختصاص داد. پیش تیمار بذر با غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر

جذب بیشتر آب و مواد غذایی نسبت به شاهد شد که در نهایت، منجر به افزایش رشد گیاه شد (۴۳). افزایش وزن خشک بوته، ریشه و زیست‌توده را می‌توان به بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی نسبت داد (۲۵).

همسو با نتایج این پژوهش، فلچر و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند که در شرایط کمبود آب، بستر حاوی پاکلوبوترازول افزایش وزن خشک ریشه را موجب شد. گپی و همکاران (۲۲) اعلام کردند که استفاده از پاکلوبوترازول سبب افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تنش آبی شد و گیاهان تیمار شده از رشد بهتری در مقایسه با شاهد برخوردار بودند. البته، محققان تأثیرگذاری پیش‌تیمار بذر با این ماده را به غلظت مورد استفاده و همچنین خصوصیات گیاهان نسبت می‌دهند.

سطح برگ

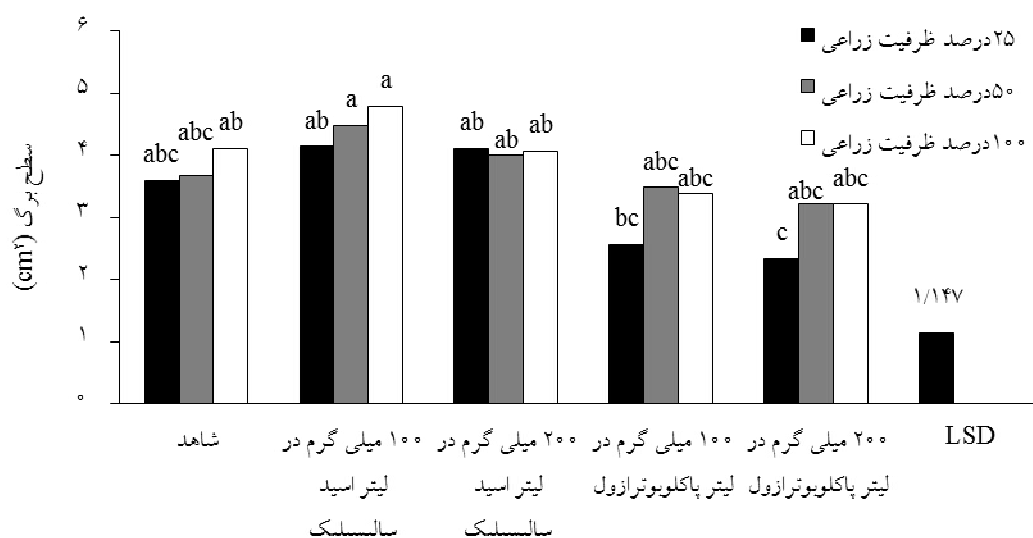
سطح برگ گیاه جعفری به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش خشکی و پرایمینگ بذر قرار گرفت. به‌طوری که بیشترین سطح برگ (۴/۷۹ سانتی‌متر مربع) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک و رطوبت ۱۰۰ درصدی ظرفیت زراعی و کمترین سطح برگ (۳/۹۳ سانتی‌متر مربع) در تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار) و تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. از سوی دیگر، پیش‌تیمار بذر با پاکلوبوترازول در سطوح بالای تنش خشکی، توانایی بهبود اثرهای سوء ناشی از تنش خشکی به‌لحاظ سطح برگ گیاه را نداشت. به‌طوری که کمترین سطح برگ در گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوبوترازول و آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳).

به‌طور کلی، در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی، تیمارهای با غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک سطح برگ بیشتری نسبت به پیش‌تیمار بذر با پاکلوبوترازول داشتند. پیش‌تیمار بذر با پاکلوبوترازول در شرایط تنش ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی از کاهش سطح برگ ناشی از تنش

خشکی جلوگیری کرده و با سطح رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در یک گروه آماری قرار گرفت. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک از طریق حفظ و افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای در برابر تنش خشکی، میزان رشد را افزایش داده و از طریق جذب بیشتر آب و مواد غذایی در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود. این افزایش رشد همراه با حفظ سطح برگ کل خواهد بود (۲۵). به‌نظر می‌رسد که نقش اسید سالیسیلیک در افزایش فتوسنتز می‌تواند دلیلی بر افزایش سطح برگ باشد (۲۵). بدین ترتیب، از آنجا که پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک می‌تواند کاهش شاخص‌های کمی و کیفی جعفری را در شرایط تنش تعدیل کند، می‌توان مصرف این ماده را به‌عنوان پیش‌تیمار برای بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی، به‌ویژه خشکی، برای توسعه کاشت این گونه ارزشمند در شرایط آب و هوایی خشک کشور مدنظر قرار داد. بازدارندگی بیوسنتز جیبرلین توسط تریازول‌ها، کاهش طول میان‌گره و سطح برگ را موجب می‌شود (۱۹). تأثیر منفی پیش‌تیمار بذر با پاکلوبوترازول در مورد کاهش رشد جو (*Hordeum vulgare* L.) را به تأثیر این ماده در کاهش بیوسنتز جیبرلین و افزایش اسید آبسزیک نسبت داده‌اند (۴۸).

میزان پرولین برگ

پرولین برگ‌های جعفری به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر پرایمینگ بذر قرار گرفت. به‌طوری که پیش‌تیمار بذرهای جعفری با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک، به‌ترتیب باعث افزایش هشت درصدی و کاهش ۱۵ درصدی محتوای پرولین برگ شد (جدول ۳). در این راستا، حسین و همکاران (۲۷) با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دریافتند که با کاربرد این ماده، میزان پرولین افزایش یافت. همچنین، باندروسکا و استوینسکا (۷) بیان کردند که تیمار با اسید سالیسیلیک محتوای پرولین را در برگ‌های *H. spontaneum* افزایش داد. پیش‌تیمار بذر با غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول موجب افزایش میزان پرولین برگ‌های



شکل ۳. میانگین سطح برگ گیاه جعفری تحت تأثیر پرایمینگ بذر و تنش خشکی

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرهای اصلی پرایمینگ بذر و تنش خشکی بر میزان پرولین برگ گیاه جعفری

میزان پرولین برگ (μg/g fw)	تیمار
۲/۰۷ ^b	شاهد (بدون پرایمینگ)
۲/۲۲ ^a	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۱/۷۵ ^b	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۲/۱۶ ^a	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۲/۱۲ ^a	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۰/۱۵۴	LSD ۰/۰۵
۲/۴ ^a	رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی
۱/۵۹ ^b	رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی
۱/۰۶ ^c	رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی
۰/۱۵۴	LSD ۰/۰۵

نشان داد. به طوری که با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان پرولین برگ ۵۶ درصد افزایش یافت. لذا، حداکثر میزان پرولین در رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن در گیاهان رشد یافته در شرایط ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۳). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در ریحان (۳۰)، پروانش (*Vinca rosea* L.) (۴)، گوجه فرنگی (۱۰) و جعفری (۳)

جعفری در مقایسه با شاهد شد. به صورتی که هر دو غلظت پاکلوبوترازول از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند و موجب افزایش یکسانی در سنتز اسید آمینه پرولین شدند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته های عبدالجلیل و همکاران (۴) مطابقت داشت.

میانگین محتوای پرولین برگ های جعفری نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، میزان پرولین روند افزایشی از خود

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر میزان پروتئین محلول برگ گیاه جعفری

تیمار	میزان پروتئین محلول برگ ($\mu\text{g/g fw}$)
رطوبت ۲۵ درصد ظرفیت زراعی	۳۱/۸۲ ^a
رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۳/۸۱ ^b
رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۱/۴۲ ^c
LSD ۰/۰۵	۵/۶۱۸

گزارش شده است. پرولین، اسید آمینه‌ای است که در شرایط تنش تجمع یافته و علاوه بر تنظیم اسمزی، با محافظت از ساختارهای سلولی و آنزیم‌ها، موجب افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود (۳۶). افزایش میزان پرولین در شرایط خشکی، مکانیسم دفاعی است که به گیاه کمک می‌کند تا پتانسیل اسمزی سلول برای جذب آب کاهش دهد. از طرف دیگر، تجمع اسمولیت‌هایی مثل پرولین به نگهداری آب بافت کمک کرده و پروتئین‌ها و غشاهای سلولی را از تنش‌های اسموتیک و اکسیداتیوی محافظت می‌کند (۱۸).

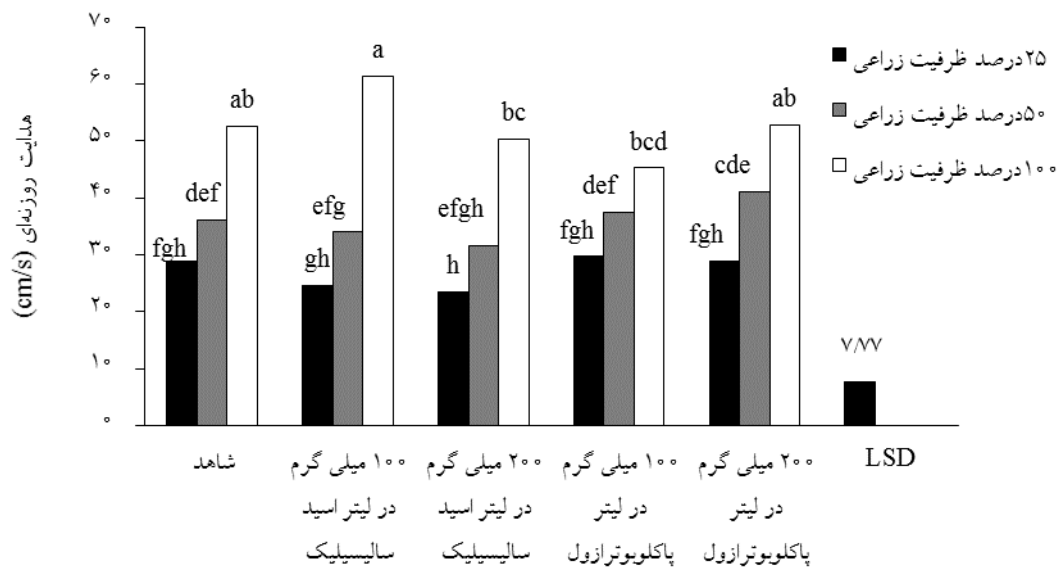
میزان پروتئین محلول برگ

میانگین میزان پروتئین محلول برگ جعفری نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، محتوای پروتئینی برگ‌ها روند صعودی داشتند. به‌طوری که با کاهش رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوای پروتئین محلول برگ ۳۷ درصد افزایش یافت (جدول ۴). از آنجا که جذب مواد غذایی، متابولیسم و سنتز پروتئین به میزان زیادی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (۴۷)، لذا با افزایش شدت بروز تنش، محتوای پروتئین افزایش می‌یابد. بروز تنش باعث افزایش سنتز پروتئین کل در اندام‌های گوناگون پیاز شد (۱). به‌طور کلی، افزایش برخی از پروتئین‌ها که موجب افزایش تحمل به تنش می‌شوند ممکن است علت افزایش پروتئین باشند (۱۴).

هدایت روزنه‌ای برگ

میانگین هدایت روزنه‌ای برگ‌های جعفری نشان داد که با

افزایش شدت تنش خشکی، این صفت روند نزولی داشت. به‌طوری که شاهد با ۶۱/۱۱ سانتی‌متر بر ثانیه بیشترین و تیمار ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی با ۳۱/۸۱ سانتی‌متر بر ثانیه کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشت. از طرفی، در رطوبت ۱۰۰ درصدی ظرفیت زراعی، تیمار بذر با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، هدایت روزنه‌ای برگ‌ها را افزایش داد. اما در شرایط تنش رطوبتی، اثر بهبود دهنده اسید سالیسیلیک بر هدایت روزنه‌ای برگ‌ها مشهود نبود و حتی در رطوبت‌های ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، روند کاهشی در هدایت روزنه‌ای برگ جعفری مشاهده شد (شکل ۴). از سوی دیگر، با افزایش غلظت پاکلوپوترازول، هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافت؛ که البته این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده و پرایمینگ بذر با پاکلوپوترازول با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴). هنگامی که گیاه در معرض تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، به‌دلیل کاهش محتوای رطوبتی بافت‌های گیاهی و جلوگیری از هدررفت و تلفات رطوبتی، روزنه‌ها بسته می‌شوند. البته اگر تعداد روزنه‌های هوایی در سطح برگ کم باشد، گیاه با سرعت کمتری نسبت به کمبود رطوبت واکنش نشان داده و بسته می‌شوند که در نتیجه اثر کمبود آب به تعویق می‌افتد (۲۳ و ۴۱). یانگ و همکاران (۴۹) گزارش کردند که بروز تنش خشکی سبب ایجاد محدودیت روزنه‌ای شد که با افزایش شدت تنش، افزایش محدودیت روزنه‌ای در نتیجه منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز شد. عبدالجلیل و همکاران (۴) و ماده‌اوا روا و



شکل ۴. میانگین هدایت روزنه‌ای برگ گیاه جعفری تحت تأثیر پرایمینگ بذر و تنش خشکی

در لیتر پاکلوبوترازول مشاهده شد. در این بین، غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک که بیشترین میزان پتاسیم برگ را به خود اختصاص داد، پتاسیم برگ‌های جعفری را حدود هشت درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق حفظ سلامت سیستم ریشه‌ای در برابر تنش کم آبی، میزان رشد آن را افزایش داده و باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی از جمله پتاسیم شده که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (۲۷).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی به عنوان یک عامل ایجادکننده اختلال در فیزیولوژی گیاه بر روی پارامترهای رشدی گیاه نیز تأثیر می‌گذارد. از جمله راهکارهای تحمل به تنش در گیاهان تنظیم اسمزی است که از طریق افزایش میزان انباشت کربوهیدرات‌های محلول، اسیدهای آمینه از جمله پرولین در شرایط بروز تنش در تعدادی از گیاهان گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که پیش تیمار بذر جعفری با سالیسیک اسید از طریق بهبود بیشتر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی باعث افزایش بیشتر مقاومت نسبت به تنش

همکاران (۳۵) به این نتیجه رسیدند که کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از اعمال تنش خشکی به دلیل تغییر در تبادل گاز به طور مستقیم بر سرعت فتوسنتز و فرایندهای بیوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد. یکی از عوامل مهم در شرایط کمبود فشار بخار آب، کاهش سرعت فتوسنتز و آسمیلاسیون، بسته شدن روزنه‌ها است که نتیجه آن کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت، کاهش میزان فتوسنتز و غلظت دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی برگ است که به نوبه خود سبب جلوگیری از متابولیسم می‌شود (۳۳ و ۳۶). افزایش هدایت روزنه‌ای در اثر کاربرد پاکلوبوترازول به صورت پیش تیمار بذر، با نتایج آزمایش‌های عبدالجلیل و همکاران (۴) مطابقت دارد. این محققان اظهار داشتند که کاربرد پاکلوبوترازول از طریق افزایش اندازه و تعداد روزنه‌های برگ، باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شد.

میزان پتاسیم برگ

میانگین داده‌ها نشان داد که پرایمینگ بذرهای جعفری به طور قابل توجهی میزان پتاسیم برگ‌های گیاهچه‌های حاصل را تحت تأثیر قرار داد. به طوری که بیشترین میزان پتاسیم برگ در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک و غلظت ۲۰۰ میلی گرم

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی پرایمینگ بذری بر محتوی پتاسیم برگ گیاه جعفری

میزان پتاسیم برگ (درصد)	تیمار
۴/۳۵ ^c	شاهد (بدون پرایمینگ)
۴/۷ ^a	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۴/۵۱ ^{bc}	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک
۴/۴۳ ^{abc}	غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۴/۶۱ ^{ab}	غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول
۰/۱۶۵	LSD ۰/۰۵

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی که هزینه‌های اجرای این آزمایش را تأمین کرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را کنند.

خشکی در مقایسه با پیش تیمار با پاکلوبوترازول شد. بنابراین، پیش تیمار بذری جعفری با اسید سالیسیلیک می‌تواند به منظور بهبود رشد این گیاه در شرایط تنش خشکی مؤثر مد نظر قرار گیرد و از اثرات سوء ناشی از این تنش بکاهد.

منابع مورد استفاده

- آروین، م. ج. و ن. کاظمی پور. ۱۳۸۰. آثار تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و ترکیب شیمیایی و بیوشیمیایی چهار رقم پیاز خوراکی. مجله علوم آب و خاک ۵(۴): ۴۱-۵۲.
- حسنی، ع. و ر. امیدبیگی. ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان. مجله دانش کشاورزی ۱۲(۳): ۴۷-۵۹.
- میرفتاح، س. م. و. ربیعی، ف. دشتی، م. ر. مصدقی و م. دارابی. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی روی عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی در دو توده گیاه جعفری. مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۴: ۳۳۷-۳۴۴.
- Abdul Jaleel, C., P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, S. Sankari and R. Panneerselvam. 2007. Paclobutrazol enhances photosynthesis and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. Process Biochem. 42: 1566-1570.
- Antognozze, E., G. Frenguelli and F. Ferranti. 1990. Histological and anatomical modifications in roots, stems and leaves of olive (*Olea europaea* L.) treated with paclobutrazol. J. Hort. Sci. 60: 553.
- Ashraf, M. and M.R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59: 206-216.
- Bandurska, H. and A. Stroinski. 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. Acta Physiol. Plant. 27: 379-386.
- Barranco, D. and E. Fernandez. 1998. Influence of phosphorus and paclobutrazol application, trunk girdling and container size on growth and fruiting of young olive (*Olea europaea* L.) trees. ITEA Product, Vegetable 94: 51-55.
- Bates, L.S., R.P. Waldron and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
- Behnamnia, M., K.M. Kalantary and F. Rezanejad. 2009. Exogenous application of Brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. Gen. Appl. Plant Physiol. 35: 22-34.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Aust. J. Agric. Res. 56: 1159-1168.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Brian, W.E. 2015. Plant Growth Regulators for Annuals. Fine American Inc., NC, USA 48 p.

14. Campalans, A., M. Pages and R. Messeguer. 2001. Identification of differentially expressed genes by the cDNA-AFLP technique during dehydration of almond (*Prunus amygdalus*). Tree Physiol. 21: 633-643.
15. Cavazza, L., A. Patruno and E. Cirillo. 2007. Field capacity in soils with a yearly oscillating water table. Biosyst. Eng. 98: 364-370.
16. Charles, D.J., J.E. Simon, C.C. Shock, E.B.G. Feibert and R.M. Smith. 1993. Effect of water stress and post-harvest handling on artemisinin content in the leaves of *Artemisia annua* L. PP. 628-631. In: Janick, J. and J.E. Simon (Eds.), New Crops, Wiley, New York.
17. Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. PSN 41: 281-284.
18. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agron. Sust. Dev. 29: 185-212.
19. Fletcher, P.A., N. Gilley, N. Sankhla and T. Davis. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Hort. Rev. 24: 55-138.
20. Ganpat, S., S. Ishwar and D.S. Bahati. 1992. Response of blond pysllium (*Plantago ovata*) to irrigation and split application of nitrogen. Indian J. Agron. 37: 880-881.
21. Ghoulam, C.F., F. Ahmed and F. Khalid. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environ. Exp. Bot. 47: 139-150.
22. Gopi, R., C. Abdul Jaleel, V. Divyanair, M.M. Azooz and R. Panneerselvam. 2009. Effect of paclobutrazol and ABA on total phenol contents in different parts of holy basil (*Ocimum sanctum*). Acad. J. Plant Sci. 2(2): 97-101.
23. Goyal, V., J. Sudha and N. Bishnoi. 1998. Effect of terminal water stress on stomatal resistance, transpiration, and canopy temperature and millet yield. Ann. Agric. Biol. Res. 3: 119-122.
24. Gregory, P.J. 2006. Plant Roots (Growth, Activity and Interaction with Soils). Blackwell Publishing, pp. 150-173.
25. Hamada, A.M. and A.M.A. Al-Hakimi. 2001. Salicylic acid versus salinity-drought-induced stress on wheat seedlings. Int. Inform. Syst. Agric. Sci. Technol. 47: 444-450.
26. Harris, D. 2003. Reducing risk and increasing yields from rainfed crops in Africa using on farm seed priming. In: 6th Biennial Conference of the Africa Crop Science Society, Abstracts: Harnessing Crop Technologies to Alleviate Hunger and Poverty in Africa, Hilton Nairobi, Kenya, 12-16 Oct., pp. 87-88.
27. Hussain, M., M.A. Malik, M. Farooq, M.Y. Ashraf and M.A. Cheema. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycine betaine and salicylic acid in sunflower. J. Agron. Crop Sci. 196: 136-145.
28. Jacob, H. and G. Clarke. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1692 p.
29. Kalantar Ahmadi, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S. Jahanbakhsh, S.A. Siadat and H. Tavakoli. 2015. Effects of irrigation deficit and application of some growth regulators on defense mechanisms of canola. Notu. Bot. Hort. Agrobot. Cluj-Napoca. 43(1): 124-130.
30. Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). Int. Agrophys. 20: 289-296.
31. Khan, A.J., F. Azam and A. Ali. 2010. Relationship of morphological traits and grain yield in recombinant inbred wheat lines grown under drought conditions. Pak. J. Bot. 42: 259-267.
32. Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, potassium. In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part II, ASA-SSSA, Madison, WI.
33. Lawlor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. Ann. Bot. 89: 871-885.
34. Lee, S.S., J.H. Kim, S.B. Hong, S.H. Yun and E.H. Park. 1998. Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. Korean J. Crop Sci. 43: 194-198.
35. Madhava Roa, K.V., A.S. Raghavendra and K. Janardhan Reddy. 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer, pp. 15-39.
36. Mishra, S. and R.S. Dubey. 2006. Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic exposed rice seedlings: Role of proline as enzyme protectant. J. Plant Physiol. 163(9): 927-936.
37. Misra, A.O. and N.K. Sriacastiva. 2002. Influence of water stress on Japanese mint. J. Herbs Spices Medic. Plants 7: 51-58.
38. Najla, S., R. Sanoubar and R. Murshed. 2012. Morphological and biochemical changes in two parsley varieties upon water stress. J. Plant Physiol. Molec. Biol. 18: 133-139.
39. Petropoulos, S.A., D. Daferera, M.G. Polissiou and H.C. Passam. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Hort. Sci. 115: 393-398.
40. Sankar, B., C.A. Jaleel, P. Manivannan, A. Kishorekumar, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2007. Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis*

- hypogaea* L. Colloid. Surface B: Biointerfaces 60: 229-235.
41. Shakirova, F.M., A.R. Shakhbutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci.* 164: 317-322.
 42. Siddique, M.R.B., A. Hamid and M.S. Islam. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Bot. Bull. Acad. Sinica* 41: 35-39.
 43. Singh, B. and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *J. Plant Growth Regul.* 39: 137-141.
 44. Subhani, G.M. and M.A. Chowdhry. 2000. Correlation and path coefficient analysis in bread wheat under drought stress and normal conditions. *Pak. J. Biol. Sci.* 3(1): 72-77.
 45. Tekalign, T. and P.S. Hammes. 2004. Response of potato grown under non-inductive condition to paclobutrazol: Shoot growth, chlorophyll content, net photosynthesis assimilates partitioning, yield, quality and dormancy. *J. Plant Growth Regul.* 43: 227-236.
 46. Tomar, S.S., K.P. Gupta, M. Abbas and K.B. Nigam. 1994. Effect of irrigation and fertility levels on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum*). *Indian J. Agron.* 30: 442-447.
 47. Turkan, I. 2011. *Plant Responses to Drought and Salinity Stress: Development in a Post-Genomic Era*. Academic Press, N. Y.
 48. Vettakkorumakankav, N.N., D. Falk, P. Saxena and R.A. Fletcher. 1999. A crucial role for gibberellins in stress protection of plants. *Plant Cell Physiol.* 40 (5): 542-548.
 49. Yang, Y., Q. Liu, C. Han, Y.Z. Qiao, X.Q. Yao and H.J. Yin. 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *PSN* 45(4): 613-619.
 50. Zeevart, J.A.D. 1999. Absciscic acid metabolism and its regulation. PP. 189-207. *In: Hooykaas, P.J.J., M.A. Hall and K.R. Libbenga (Eds.), Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones*, Elsevier Science, Amsterdam.

Effect of Seed Priming by Salicylic Acid and Paclobutrazol on some Agronomical and Physiological Traits of Parsley (*Petroselinum Sativum* Mill.) under Drought Stress

Z. Saadati¹, B. Esmailpour^{1*} and A. Javadi¹

(Received: 9 January 2017 ; Accepted : 22 September 2017)

Abstract

In order to investigate the effects of seed priming by salicylic acid (SA) and Paclobutrazol (Pa) on parsley, as a medicinal plant, under drought stress, a factorial experiment, based on completely randomized design with four replications, was performed at the Research Greenhouse and Laboratory of Department of Horticulture, University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included five levels of priming (seed priming by 100 and 200 mg/L concentrations of SA and 100 and 200 mg/L of Pa and control (no priming)) and three levels of drought stress (25, 50 and 100% of field capacity (FC) moisture content). Results showed that seed priming had significant effect on plant height, shoot and root dry weight, proline content, stomatal conductance and potassium content of parsley ($p \leq 0.05$). Seed priming by 100 and 200 mg/L SA increased plant dry weight by 14 and 8%, respectively, as compared to control. Seed priming by 100 and 200 mg/L Pa reduced plant dry weight by 1 and 11%, respectively, as compared to control plants. Drought stress decreased all vegetative growth traits of parsley. But, proline and soluble protein contents of leaves were increased. Maximum proline content of leaves (2.4 $\mu\text{g/g}$ fresh weight) was for 25% field capacity moisture content and the lowest proline content (1.06 $\mu\text{g/g}$ fresh weight) was observed for 100% field capacity moisture content. Seed priming by salicylic acid, having positive effect on growth and physiological traits, led to higher resistance against drought stress, as compared to Paclobutrazol.

Keywords: Soluble protein, Medicinal plant, Proline content, Stomatal conductance.

1. Dept. of Hort. Sci., College of Agric., Mohaghegh Ardabili Univ., Ardabil, Iran.

* Corresponding Author, Email: behsmaiel@yahoo.com